مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

OPEN ACCESS JOURNAL

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی وکانی شناسی ایران

سال سی و دوم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۳۶۷ تا ۳۷۸

کاربرد طیف‌سنجی غیرمخرب میکرورامان در مشخصه‌یابی گوهرسنگ‌های لاجورد، لعل، یاقوت، زمرد و گارنت افغانستان

رحمت الله اندیشمند، حمید مطهری*

دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۷/۲۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰)

چکیده: در این پژوهش، طیف‌سنجی میکرورامان به عنوان یک روش غیرمخرب و سریع برای شناسایی سنگ‌های قیمتی افغانستان همچون لاجورد، لعل، یاقوت، زمرد، و گارنت استفاده شد. افغانستان از مهمترین مراکز سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی در جهان است و شناسایی سریع این نمونه‌ها به روش غیرمخرب اهمیت بسیاری دارد. نمونه‌ها از مناطق مختلف شامل بدخشان، پنجشیر، کابل و نورستان تهیه شدند. سپس طیف میکرورامان آنها ثبت و بررسی شد. قله‌های اصلی طیف رامان هر نمونه مشخص گردید. نتایج نشان می‌دهد که لاجورد، لعل، یاقوت، زمرد و گارنت به ترتیب دارای قله‌های اصلی در حدود ۵۳۶، ۴۲۰۸، ۴۴۰۹، ۴۱۲۰، و $۹۰۷ \ cm^{-1}$ هستند. سرانجام برای مقایسه و اطمینان از نتایج، پراش پرتوی x (XRD) پودر نمونه‌های گارنت، لعل و لاجورد که امکان خردایش آنها وجود داشت، بررسی شد. این نمونه‌ها از معدن مشخص در افغانستان به کمک طیف‌سنجی میکرورامان به سرعت قابل تشخیص هستند.

واژه‌های کلیدی: *گوهرسنگ؛ افغانستان؛ طیف‌سنجی رامان؛ زمرد؛ یاقوت؛ گارنت آلماندین؛ لاجورد.*

مقدمه

طیف سنجی به عنوان روشی که از اندرکنش نور با ماده استفاده می‌کند، شناخته شده است. بواسطه استفاده از تابش امواج الکترومغناطیسی یا نور لیزر یا چشمه‌های تابشی دیگر، روش‌های طیف‌سنجی برای شناسایی کانی‌ها و سنگ‌های طبیعی و معدنی بسیار مناسب هستند. این روش‌های مشخصه‌یابی می‌توانند در بسیاری از موارد به طور غیر مخرب به شناسایی مناسبی از سنگ‌های گران‌بها و قیمتی و کانی‌ها کمک نمایند. طیف‌سنجی میکرورامان به عنوان یکی از بهترین روش‌های شناسایی غیرمخرب، امروزه برای شناسایی سنگ‌های تزیینی و قیمتی به طور فزاینده‌ای در پژوهش‌ها و در صنعت استفاده می‌شود [۱-۵]. از سوی دیگر، طیف رامان توانمندی مناسبی در تشخیص مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های نیمه‌قیمتی و تشخیص نمونه‌های مصنوعی از طبیعی دارد [۶]. طیف میکرورامان یک پراکندگی ناکشسان بین نور با ماده محسوب می‌شود و در زمان بسیار کوتاه و بدون آماده‌سازی دشوار، قادر به ارزیابی مناسبی از نمونه و ساختار مولکولی و در اصل شناسایی سنگ‌های قیمتی همچون الماس، یاقوت، زمرد و لعل است [۷، ۸]. در برخی موارد چون الماس، طیف میکرورامان یک اثر انگشت کاملا آشکار و شاخص دارد که براحتی در کمتر از چند ثانیه و بدون هیچ‌گونه تخریب نمونه یا نیاز به آماده‌سازی به طور دقیق با قله مشخصه شناخته می‌شوند [۹، ۱۰]. از سوی دیگر، کشور افغانستان با دارابودن بیش از شصت نوع سنگ نیمه‌قیمتی و قیمتی و گران‌بها از بهترین کشورهای جهان در این زمینه است که برخی از معادن آن در سطح جهان نیز از نظر نوع ساختار بلوری یا ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از بهترین معادن شناخته می‌شوند. این کشور در همسایگی ایران، معادنی چون زمرد، یاقوت، لعل،

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۵۳۱۲۳۲۷۷۷، پست الکترونیکی: H.Motahari@yazd.ac.ir

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.367]

لاجورد و گارنت دارد که از مرغوب‌ترین مراکز و معادن این سنگ‌ها در سطح جهان هستند [۱۱]. مفاهیم عمیق زمین‌شناسی در تشریح پیشینه شکل‌گیری گوهرسنگ‌ها و کانی‌ها از موضوع‌های اساسی محسوب می‌شوند که برای شناسایی معادن ملاک هستند و از این رو، هر کشور، منطقه یا معدن، دارای کانی‌ها یا گوهرسنگ‌های ویژه خود است [۱۳،۱۲]. سنگ لاجورد از قدیمی‌ترین سنگ‌های قیمتی بوده که از چندهزار سال پیش در افغانستان استفاده شده است [۲]. از آنجا که اشیاء هنری تولید شده با لاجورد ارزشمند هستند، فقط می‌توان بررسی‌های غیرمخرب را برای شناسایی خاستگاه مواد اولیه انجام داد. افغانستان پیشروترین منبع تولید این سنگ در جهان است [۲]. از سوی دیگر، رامان در سال ۱۹۳۰ جایزه نوبل فیزیک را برای کار در زمینه پراکندگی نور و کشف اثری که امروزه به نام خودش شناخته می‌شود، دریافت کرد [۱۴]. در این روش طیف‌سنجی غیر مخرب، اگر یک مولکول تحت تأثیر میدان الکتریکی ε باشد، یک گشتاور دوقطبی الکتریکی $\vec{p}$ در آن القا می‌شود و منشا پیدایش طیف رامان خواهد بود [۱۵]. طیف رامان در پژوهش‌های متنوعی در سطح جهان برای سنگ‌های گران‌بها استفاده شده اما بر نمونه‌های کشور افغانستان به دلیل شرایط سخت این کشور، نبود تجهیزات و دانش کافی، وجود جنگ‌های داخلی طولانی مدت و مالکیت معادن به دست افراد غیرمتخصص، بررسی‌های مناسبی انجام نشده است. لذا این پژوهش توانست با تهیه و تامین نمونه‌ها و انتقال به آزمایشگاه و انجام پژوهش‌های طیف‌سنجی رامان آنها اقدام نماید.

روش بررسی

این پژوهش مبتنی بر مشخصه‌یابی سریع و غیرمخرب میکرورامان بر روی نمونه‌های تهیه شده از کشور افغانستان می‌باشد. از این رو، نخست تعدادی از سنگ‌های قیمتی معادن افغانستان از نقاط مختلف این کشور با مراجعه حضوری و تهیه تصویر از محل معادن و چگونگی فعالیت آنها انتخاب شدند. آنها خریداری شده یا از کارگران معادن جمع‌آوری گردیده و به ایران منتقل شدند. در ادامه، این نمونه‌ها با آب شستشو و تمیز شده و آماده مشخصه‌یابی در آزمایشگاه طیف‌سنجی رامان دانشکده فیزیک دانشگاه یزد شدند. در این پژوهش توان قابل کنترل چشمه تابشی لیزری دستگاه طیف‌سنجی از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی وات و لیزر با طول موج ۵۳۲ نانومتر از نوع ND:YAG بوده است و تنها خطوط استوکس رامان آشکارسازی شد و به عنوان طیف نهایی میکرورامان استفاده گردید. طیف‌سنج رامان مورد استفاده از شرکت تکسان، مدل Takram بود. عکس‌برداری با میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی روبشی (SEM) در بزرگنمایی‌های مختلف، به همراه پراش پرتوی ایکس (XRD) نیز برای تکمیل پژوهش انجام شدند. هدف اصلی این کار، مشخصه‌یابی، ارزیابی و شناسایی نمونه گوهرسنگ‌های زمرد، یاقوت، لعل، لاجورد و گارنت افغانستان با طیف‌سنجی میکرورامان بود. طیف‌سنجی میکرورامان نیاز به آماده‌سازی ویژه نمونه‌ها ندارد و تنها تمیز بودن سطح آنها کافی است. از این رو، بی درنگ نمونه‌ها با اندازه از چند صد میکرون تا چندسانتی‌متر طیف‌سنجی شدند و طیف‌ها و پس از حذف نوفه و پس زمینه بررسی شدند. لاجورد نمونه‌برداری شده، از معدن سرسنگ بدخشان افغانستان در شمال شرق افغانستان بوده است که در مرکز کوه‌های هندوکش، در کرانه راست رودخانه کوکچه به ارتفاع ۳۵۰۰ تا ۵۵۰۰ متر قرار دارد و در شکل ۱ موقعیت آن دیده می‌شود. کوکچه از تلاقی رودخانه‌های انجمن و منجان شکل گرفته و به دریای آمو می‌ریزد. نمونه دوم گوهرسنگ استفاده شده در این پژوهش و مقاله، گوهر لعل نمونه‌برداری شده از معدن اشکاشم بدخشان افغانستان است که موقعیت آن در شکل ۲ دیده می‌شود. این معدن لعل در منطقه غاران، اشتیو (زاک) شهرستان اشکاشم بدخشان افغانستان قرار دارد. پس از الماس، زمرد و یاقوت، با ارزش‌ترین گوهرسنگ قیمتی در بازارهای جهان از نظر تامین منبع خام گوهرسنگ، لعل بدخشان است. نمونه دیگر این پژوهش یاقوت کابل است. معدن یاقوت کابل برای بیش از ۷۰۰ سال فعال است. محل ذخایر یاقوت سرخ در افغانستان، امروزه منطقه معدن جگدلک در بخش جنوبی منطقه سروبی در ۶۰ کیلومتری شرق کابل است و می‌توان از دو مسیر از کابل، در حدود چهار تا شش ساعت با خودرو به آن رسید که در شکل ۳ دیده می‌شود.



شکل ۱ (الف) کوه‌های هندوکش که گوهر سنگ لاجورد در آن قرار دارد؛ (ب) نقشه منطقه جغرافیایی معدن سرسنگ بدخشان افغانستان که از جنوب هم مرز با چترال پاکستان و از شمال با تاجیکستان و از شرق به چین وصل است.



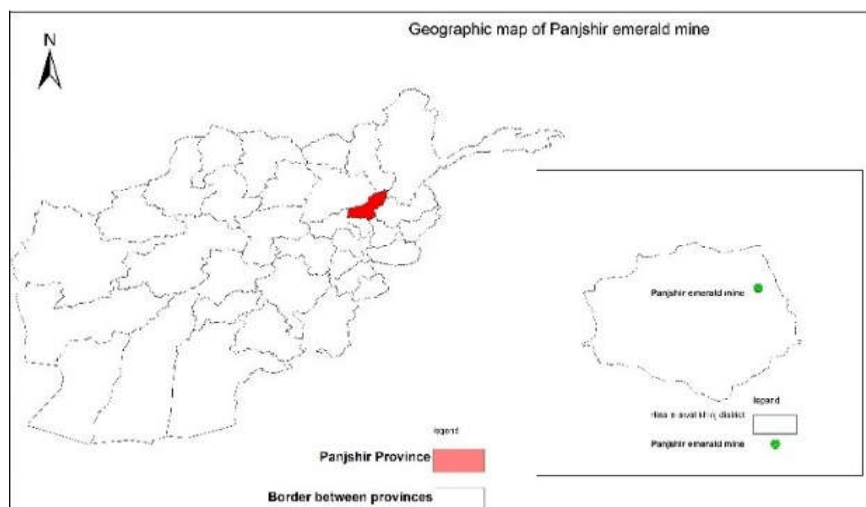
شکل ۲ (الف) کارگر معدنچی ایستاده بر صخره‌ای از کوه‌های هندوکش، (ب) موقعیت جغرافیایی اشکاشم بدخشان افغانستان.



شکل ۳ محل ذخایر یاقوت سرخ در افغانستان در منطقه معدن جگدلک در بخش جنوبی منطقه سروبی در ۶۰ کیلومتری شرق کابل که می‌توان با وسیله نقلیه از کابل در مدت حدود چهار ساعت به آن رسید.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.367]

برپایه برخی نقل قول‌های محلی و پژوهش‌ها، در این معدن حدود ۷۵ درصد یاقوت کبود صورتی، ۱۵ درصد یاقوت سرخ، ۵ درصد کورندوم آبی و قرمز تا صورتی و ۵ درصد یاقوت کبود آبی تولید می‌شود [۱۶]. چهارمین نمونه مورد بررسی در این پژوهش گوهرسنگ زمرد پنجشیر است که برای هزاران سال استخراج می‌شود و به یکی از با ارزش‌ترین منابع سنگ‌های قیمتی جهان تبدیل شده است. این گوهرسنگ به طور سنتی استخراج می‌گردد که برای استخراج آن از ابزارهای به نسبت ساده‌ای چون کلنگ و بیل توسط معدنچیان به صورت منفرد و گاهی گروهی استفاده می‌شود که در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب موقعیت و یک نمونه از نوع فعالیت غیرحرفه‌ای در این معدن دیده می‌شود. با این حال، در سراسر این منطقه از مواد منفجره برای تونل زدن، شکستن سنگ میزبان و آزادسازی زمردها نیز استفاده می‌شود. عمل انفجار کنترل نشده پیامدهای مخربی برای گوهرسنگ‌های زمرد دارد. در شکل ۶، نمونه‌های زمرد پنجشیر، لاجورد بدخشان و لعل زاک افغانستان مورد استفاده در این پژوهش دیده می‌شوند. از آنجا که پراش پرتوی ایکس XRD نیازمند پودرسازی و تخریب کامل نمونه‌هاست، نمونه‌های گارنت، لعل و لاجورد برای انجام XRD با کیفیت بالا خردایش شده و با الک کمتر از ۲۰۰ میکرومتر جداسازی شدند.



شکل ۴ نقشه جغرافیایی شهرستان حصه اول دره پنجشیر که معدن زمرد در آن وجود دارد.



شکل ۵ تصویری از یک کارگر معدنچی دره پنجشیر که به شکل غیر حرفه‌ای در حال استخراج زمرد است.



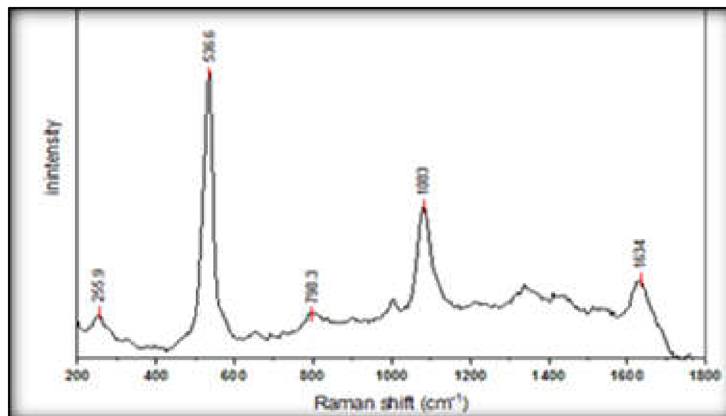
شکل۶ الف) زمردسبز پنجشیر، ب) لاجورد آبی بدخشان و پ) لعل قرمز معدن زاک افغانستان، استفاده شده در این پژوهش.

بحث و بررسی

طیف میکرورامان لاجورد در شکل ۷ نشان می‌دهد که نمونه تهیه‌شده قله‌هایی در ۲۵۵، ۵۳۶، ۷۹۸، ۱۰۸۳ و ۱۶۳۴ cm^{-1} دارد. قله ۵۳۶ cm^{-1} (مد کششی متقارن) به عنوان قله اصلی طیف رامان و قله ۱۰۸۳ به عنوان هماهنگ دوم آن، بارزترین قله‌های طیف رامان لاجورد هستند. رنگ آبی و سبز به یون‌های $S3^-$ در نمونه مربوط می‌شود و یون‌های S^-2 که منشاء رنگ سبز بوده و در طیف رامان نیز به قله ۵۸۳ cm^{-1} نسبت داده می‌شود، در طیف میکرورامان نمونه لاجورد معدن سرسنگ این قله دیده نمی‌شود و لذا نمونه لاجورد افغانستان دارای رنگ سبز نمی‌باشد.

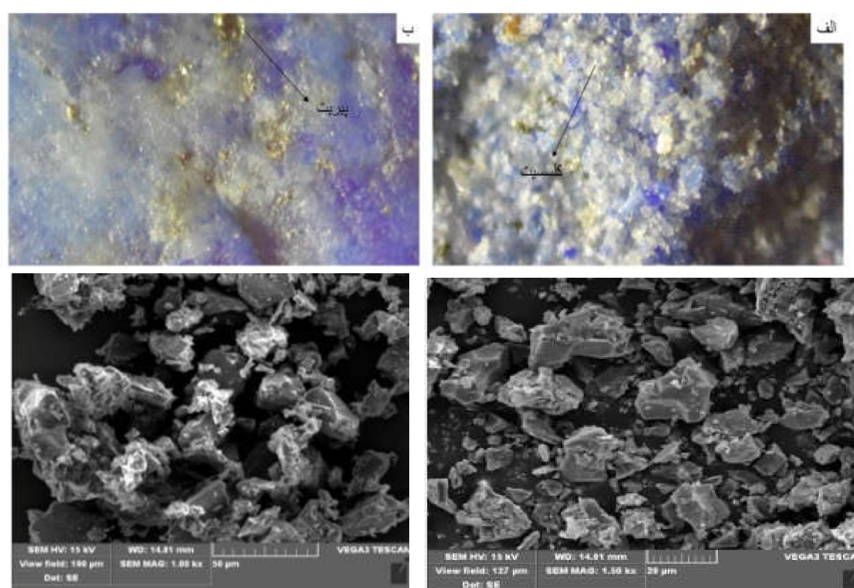
شکل ۸ تصاویر گرفته شده از سطح نمونه لاجورد بدخشان افغانستان با دوربین میکروسکوپ رامان و نیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) را نشان می‌دهد. آشکارا دیده می‌شود که نمونه تهیه شده دارای ناخالصی‌های دیگری است که حدس زده می‌شود کلسیت، و پیریت و لازوریت با اندازه‌های دانه متفاوت باشند. لاجورد اغلب با ترکیب شیمیایی $(Na,Ca)_8Al_6Si_6O_{24}(S,SO)_4$ بوده و یک کانی سیلیکاتی است که از سه کانی اصلی لازوریت،کلسیت وپیریت و سایر ناخالصی‌ها تشکیل می‌شود. لازوریت باعث رنگ آبی روشن گوهرسنگ است [۱۱].

طیف رامان لاجورد نشانه‌هایی از سایر اجزای معدنی چون پیریت و کلسیت را نیز نشان می‌دهد. لاجورد می‌تواند با فازهایی چون لازولیت، سودالیت یا آزوریت، اشتباه گرفته شود و همچنین امروزه در بازارهای جهانی برای مثال سنگ‌های مرمر دولومیتی (یشم کوهی یا هولیت) را با رزین آبی رنگ کرده و با روغن جلا می‌دهند. گاهی پودر خاکستری مایل به قهوه‌ای یشم را طی فرآیند آبی کرده و به عنوان لاجورد سوئیسی در بازار بین‌المللی می‌فروشند. از این رو برای تشخیص و شناسایی سنگ‌های طبیعی قیمتی و تزیینی چون لاجورد و تفکیک آنها از سنگ‌های مصنوعی، امروزه روش طیف‌سنجی رامان مورد توجه بیشتر قرار گرفته است. هر چند در صورت امکان تهیه پودر از برخی نمونه‌ها، می‌توان از XRD نیز برای شناسایی آنها کمک گرفت که طیف XRD نمونه لاجورد مورد بررسی در شکل ۹ دیده می‌شود. لاجورد معدن سرسنگ دارای دو فاز مهم دیوپسید با فرمول شیمیایی $Ca_3KMg_3AlSi_7O_{24}$ و سیستم بلوری مونوکلینیک، لازوریت با فرمول شیمیایی $(Na_{39}Ca_8KSi_{37}Al_{35}S_{11}O_{177}Cl)$ و دارای ساختار بلوری اورترومبیک است.

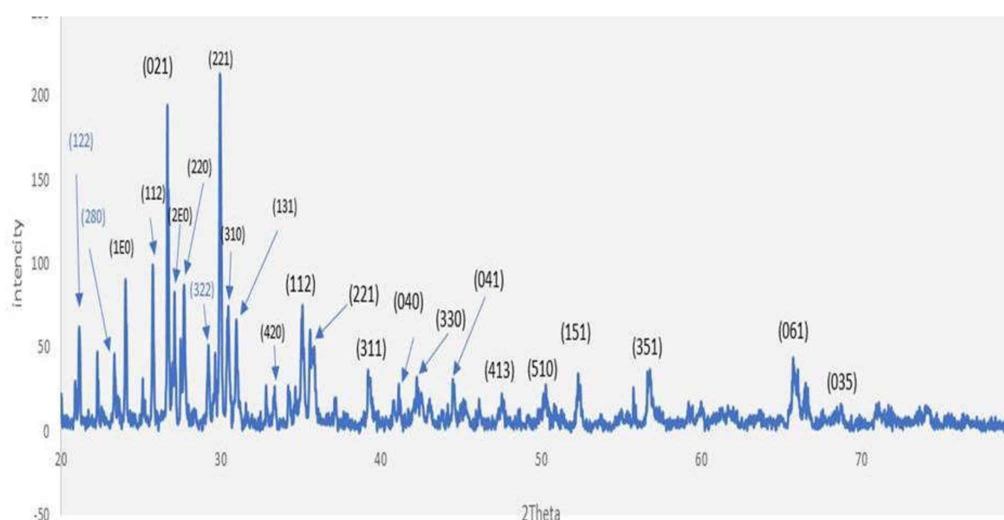


شکل۷ طیف رامان نمونه لاجورد تهیه شده از معدن سرسنگ

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.367]



شکل۸ تصاویر الف و ب) میکروسکوپ نوری دستگاه رامان و پ و ت) میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از پودر لاجورد بدخشان.



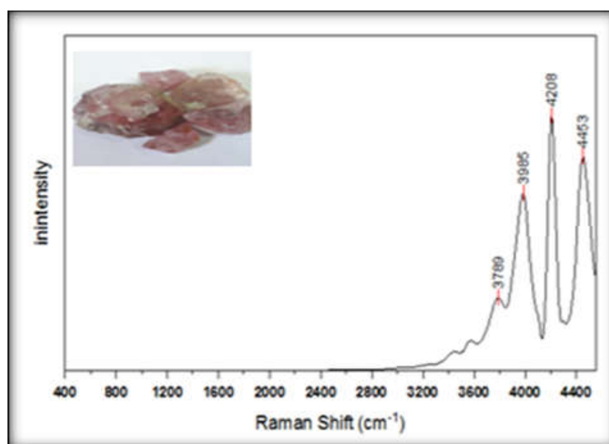
شکل ۹ طیف XRD لاجورد افغانستان.

نمونه گوهرسنگ دیگر این پژوهش از معدن اشکاشم بدخشان، لعل قرمز کشور افغانستان است. طیف میکرورامان لعل بدخشان که در شکل ۱۰ آورده شده است، نشان می‌دهد که این لعل دارای قله‌های رامان پرشدتی در حدود ۳۹۸۵، ۴۲۰۸ و ۴۴۵۳ cm^{-1} است، هرچند قله با شدت نسبی کمی در cm^{-1} ۳۷۸۹ نیز وجود دارد. براساس جستجوهای این پژوهش، سابقه‌ای از بررسی طیف رامان لعل بدخشان در دنیا بدست نیامد، هرچند نمونه‌هایی از قبیل اسپینل و گارنت از کشورهایی چون میانمار و افغانستان مورد پژوهش بوده‌اند [۶]. نتایج پراش اشعه ایکس نمونه پودر لعل نشان می‌دهد که این نمونه لعل دارای دو فاز با قله‌های XRD در گستره زاویه‌ای ۱۸٫۹۷ = 2θ مربوط به صفحه‌های (۱۱۱) با فاصله ۴٫۶۷ انگستروم و °۲۵٫۳۲ = 2θ مربوط به صفحه‌های (۱۳۵) با فاصله ۲٫۴۴ آنگستروم است (شکل ۱۱).

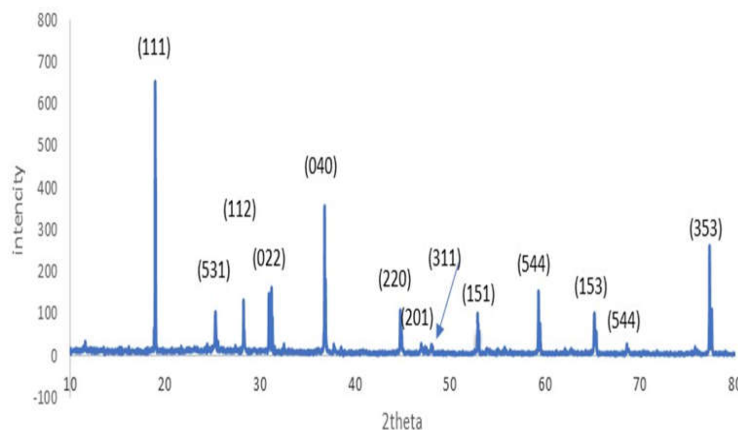
لعل بدخشان گوهرسنگ قیمتی قرمز رنگی است که در شکل ۱۲ تصویر آن دیده می‌شود. لعل به رنگ‌هایی چون

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.367]

صورتی، بنفش و آبی نیز دیده می‌شود، اما به طور عمده قرمز رنگ است. لعل با رنگ قرمز اغلب با یاقوت سرخ اشتباه گرفته می‌شود و بسیاری از سنگ‌های قیمتی قرمز بزرگ در جواهرها و تاج‌های قرون وسطی به نام یاقوت شناخته می‌شدند. اگر چه یاقوت و لعل در ظاهر شبیه هم هستند، اما از نظر ساختار شیمیایی، ویژگی‌های فیزیکی و آرایش اتم‌های درون این بلورها بسیار متفاوت هستند. لعل دارای ترکیب شیمیایی $MgAl_2O_4$ است که بسیاری از ترکیب‌ها به شکل MB_2X_4، در آن امکان اشتراک دارند [۱۷].



شکل ۱۰ طیف رامان گوهرسنگ لعل بدخشان افغانستان.



شکل ۱۱ طیف XRD لعل بدخشان افغانستان.



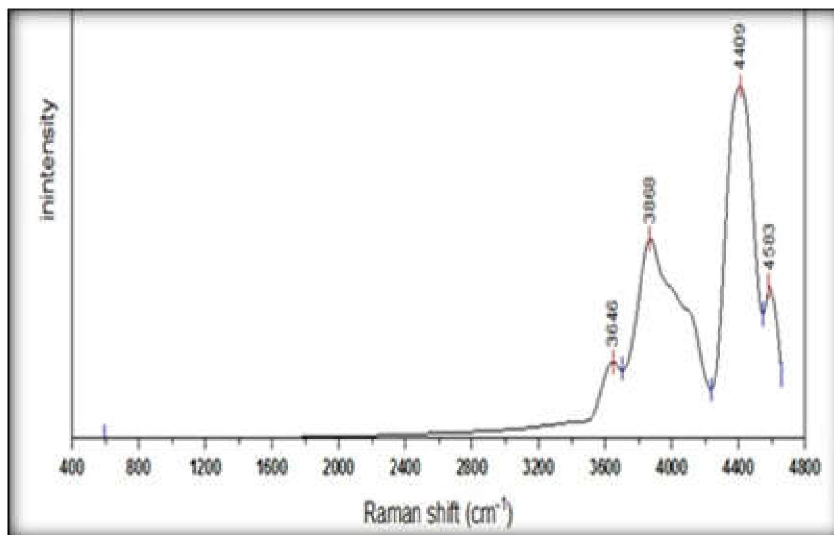
شکل ۱۲ تصویر سطح لعل بدخشان افغانستان با دوربین میکروسکوپ رامان.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.367]

نمونه دیگر مورد بررسی در این پژوهش، یاقوت قرمز از معدن جگدلک کابل افغانستان است [۱۶]. در طیف میکرورامان نمونه در شکل ۱۳ قله‌های شدید طیفی در گستره ۳۸۶۸ و cm^{-1} ۴۴۰۹ و قله ضعیفی در حدود cm^{-1} ۳۶۴۶ دیده می‌شود. این طیف که در اصل ناشی از پراکندگی طول موج‌های بزرگ گستره قرمز در مقایسه با هر طول موج دیگری است، براحتی دیده می‌شود. پژوهش‌ها اغلب نشان می‌دهند که یاقوت قرمز ساخته شده از اکسید کوراندوم و آلومینیوم و دارای فرمول شیمیایی Al_2CrO_3 است (شکل ۱۴).

نمونه گوهرسنگ باارزش دیگر از کشور افغانستان، زمرد پنجشیر است [۱۸]. با طیف میکرورامان نمونه زمرد به وزن ۰٫۱۲۴ گرم، در شکل ۱۵ قله رامان بسیار شدیدی در حدود cm^{-1}۴۱۲۰، نشان می‌دهد. زمرد مهمترین سنگ قیمتی پس از الماس و یاقوت با فرمول شیمیایی $Be_3Al_2(SiO_3)_6$ است و با مقدار کمی کروم و وانادیوم، رنگ سبز زیبایی می‌یابد.

عکس زیبای گرفته شده با استفاده از دوربین میکروسکوپ دستگاه رامان از سطح زمرد تهیه شده از پنجشیر افغانستان (شکل ۱۶) نشان می‌دهد که سطح تقریبا یکدست بوده و فاقد حفره و خلل و فرج بوده و در برخی مکان‌ها به طور شفاف فازهایی وجود دارد و به طور یکدست نیز در ابعاد میکرومتری سبز است. احتمالا این نمونه دارای ترکیبات اصلی بریل (زمرد) و کوارتز باشد که عامل رنگ سبز زمرد، وجود عنصر کروم در ساختار است.

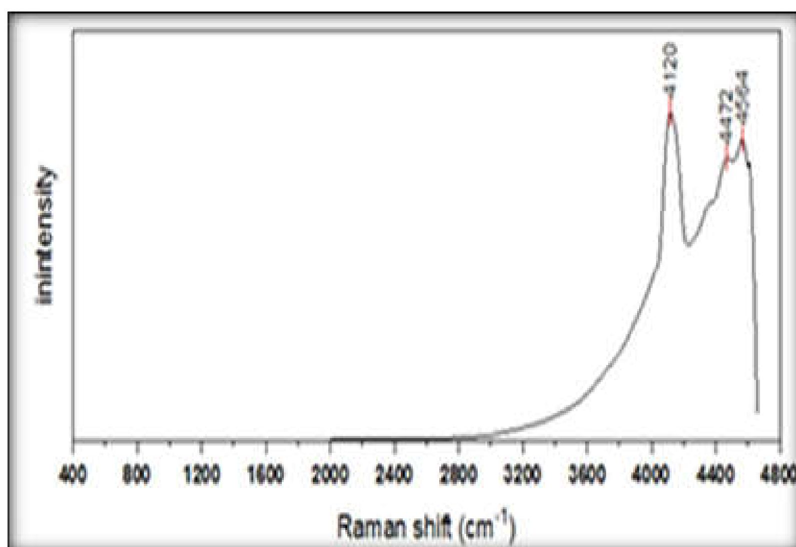


شکل۱۳ طیف میکرورامان یاقوت معدن جگدلک کابل افغانستان.

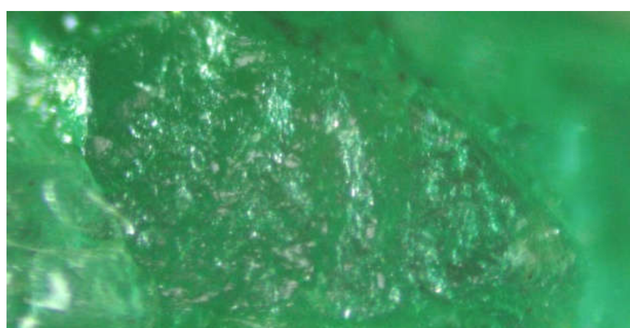


شکل۱۴ عکس گرفته شده از سطح یاقوت معدن جگدلک کابل افغانستان با میکروسکوپ رامان.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.367]



شکل ۱۵ طیف رامان زمرد دره پنجشیر افغانستان.



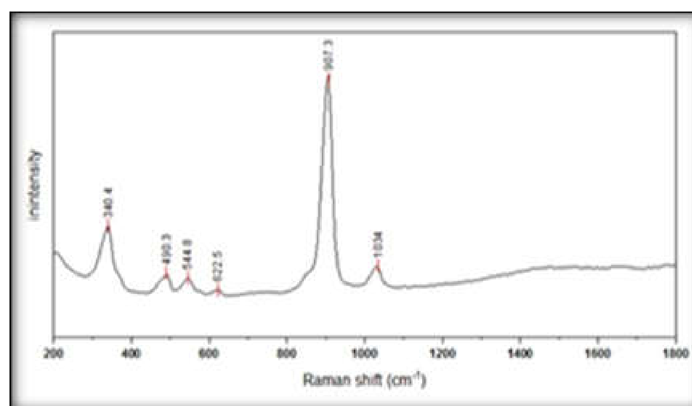
شکل۱۶ تصویر سطح زمرد دره پنجشیر افغانستان با دوربین میکروسکوپ رامان.

آخرین نمونه مورد بررسی در این پژوهش، گارنت از معدن نورستان افغانستان است. طیف میکرورامان نمونه (شکل ۱۷) قله پرشدت و بارزی در cm^{-1} ۹۰۷ و پس از آن، در حدود cm^{-1} ۳۰۴ نیز قله دیگری را نشان می‌دهد که شدت به نسبت بالایی دارد. قله‌های کم‌شدت‌تری نیز در حدود ۴۹۰، ۵۴۴، ۶۲۲، و cm^{-1} ۱۰۳۴ نیز وجود دارند. از آنجا که گارنت دارای رنگ‌های متنوعی و انواع زیادی همچون پیروپ، آلماندین، اسپساریت، گروسولار، رودولیت و دمانتوئید است، طیف رامان به خوبی نشان از نمونه آلماندین دارد هرچند به نظر می رسد که مقداری از فاز پیروپ نیز در نمونه وجود دارد.

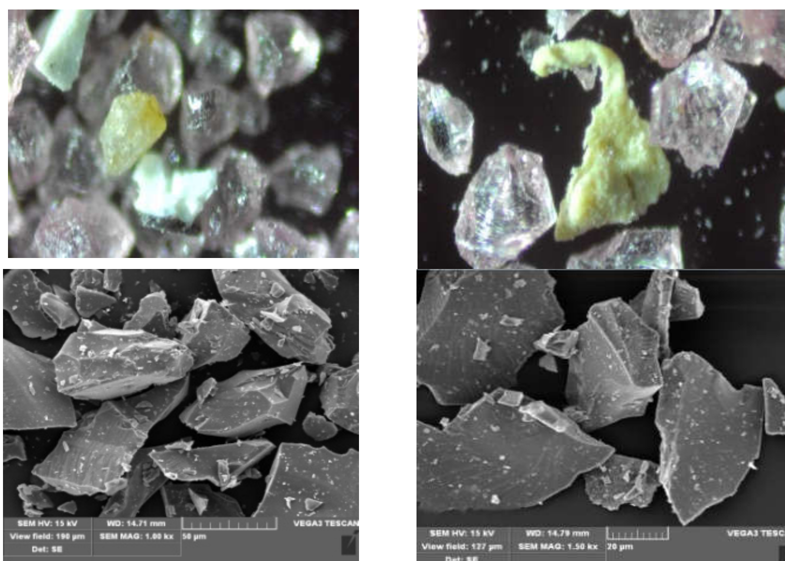
نوارهای به نسبت شدید در ۹۰۷ و cm^{-1} ۳۴۰ مربوط به پیوند Ce-Fe و نوارهای در ۴۹۰، ۵۴۴، ۶۲۲ و cm^{-1} ۱۰۳۴ مربوط به Fe-Al هستند. شکل ۱۸ تصاویر میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در دو بزرگنمایی برای ۵۰ میکرومتر و ۲۰ میکرومتر از نمونه پودر شده است گارنت افغانستان را نشان می‌دهد.

لذا گارنت نمونه‌برداری شده از معدن نورستان افغانستان پودر شده و آنالیز پراش پرتو ایکس XRD نیز از آن گرفته شد مطابق (شکل ۱۹). نتایج این نمونه گارنت نشان از چند قله شدید دارد. قله در حدود $2\theta=$ °۳۴٫۷۸ مربوط به صفحه‌های بلوری (۰۴۲) با فاصله ۲٫۵۷ آنگستروم، قله در حدود $2\theta=$ °۳۸٫۲۰ مربوط به دسته صفحه‌های (۲۴۲) با فاصله ۲٫۳۵ آنگستروم، و قله دیگر در حدود $2\theta=$°۵۷٫۶۷ مربوط به صفحه-های (۰۶۴) با فاصله ۱٫۵۹ آنگستروم است. در مجموع، دیده می‌شود که نتیجه به خوبی با طیف رامان نمونه گارنت آلماندین همخوانی دارد که فرمول شیمیایی آن به صورت $Fe^{2+}{}_3Al_2(SiO_4)_3$ است و فازهای اضافه چه در طیف رامان و چه در XRD بیشترین همخوانی را با گارنت پیروپ دارند [۱۹].

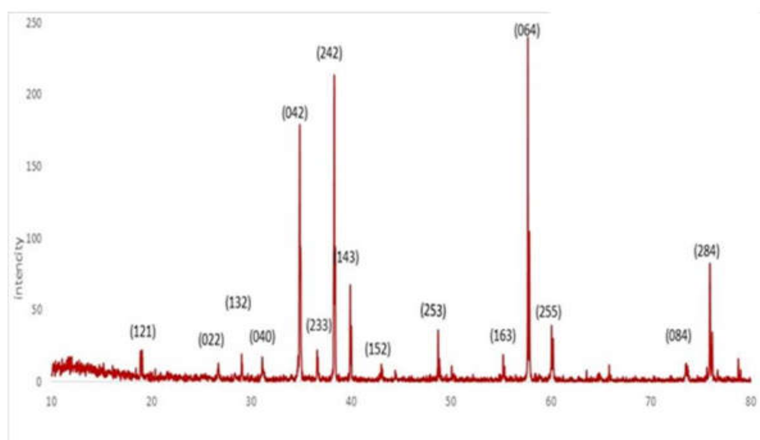
[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.367]



شکل ۱۷ طیف میکرورامان گارنت نمونه‌برداری شده از معدن نورستان افغانستان.



شکل ۱۸ تصاویر سطح پودر سنگ گارنت با استفاده از میکروسکوپ نوری دستگاه رامان و میکروسکوپ الکترونی SEM .



شکل۱۹ طیف پراش پرتو ایکس (XRD) پودر گارنت نمونه معدن نورستان افغانستان.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.367]

برداشت

در این پژوهش، گوهرسنگ‌های لاجورد، لعل، یاقوت، زمرد و گارنت تهیه شده از معادن کشور افغانستان با طیف‌سنجی میکرورامان بررسی و شناسایی شدند. تصاویر میکروسکوپی سطح نمونه‌ها نیز ثبت شد. سرانجام برای مقایسه عملکرد طیف‌سنجی رامان در شناسایی نمونه‌ها، از روش پراش پرتوی ایکس (XRD) نیز برای ارزیابی نمونه‌های گارنت، لعل و لاجورد استفاده شد. طیف رامان بسیار سریع و بدون نیاز به تخریب یا خردایش نمونه‌های گوهرسنگ، در کمتر از چند ثانیه اطلاعات بسیار مفیدی را بدست داد. نتایج نشان داد که لاجورد افغانستان قله $۵۳۶\ cm^{-1}$ مربوط به مد کششی متقارن به عنوان قله اصلی طیف رامان را دارد و بدون قله $۵۸۳\ cm^{-1}$ و در نتیجه رنگ سبز است. نمونه لعل تهیه شده از معدن لعل اشکاشم بدخشان افغانستان دارای قله‌های پرشدت در ۳۹۸۵، ۴۲۰۸ و $۴۴۵۳\ cm^{-1}$ است و طیف رامان لعل بدخشان با لعل میانمار همخوانی خوبی دارد. طیف یاقوت کابل دارای قله‌های شدید در حدود ۳۸۶۸ و $۴۴۰۹\ cm^{-1}$ بوده و طیف زمرد سبز بدخشان نیز دارای قله رامان بسیار شدید در حدود $۴۱۲۰\ cm^{-1}$ است. طیف رامان نمونه گارنت افغانستان قله پرشدت و بارزی در $۹۰۷\ cm^{-1}$ و پس از آن، در حدود $۳۰۴\ cm^{-1}$ نیز قله دیگری با شدت به نسبت بالا نشان می‌دهد. سایر قله‌های کم‌شدت‌تر در حدود ۴۹۰، ۵۴۴، ۶۲۲، و $۱۰۳۴\ cm^{-1}$ نیز وجود دارند. از آنجا که گارنت دارای انواع زیاد و رنگ‌های متنوعی است، طیف رامان آن به خوبی نشان از نمونه آلماندین دارد هرچند به نظر می‌رسد که مقداری از فاز پیروپ نیز در نمونه وجود دارد. سرانجام می‌توان گفت که از طیف‌سنجی میکرورامان برای شناسایی غیر مخرب و بسیار سریع نمونه‌های گوهرسنگ و سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی افغانستان می‌توان استفاده نمود و با مقایسه قله‌های هر نمونه می‌توان با سرعت بالا و بدون تخریب نمونه گوهرسنگ را شناسایی نمود.

قدردانی

از کارشناسان آزمایشگاه‌های دانشکده فیزیک و زمین‌شناسی و عزیزانی که در کشور افغانستان در تهیه نمونه‌ها بسیار زحمت کشیدند صمیمانه قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] Li W., Zheng J., Pei J., Xu X., Chen T., *"Correlations between Garnet Species and Vibration Spectroscopy: Isomorphous Substitution Implications", Crystals*, vol. 12, no. 1, (2022), 104, doi: 10.3390/cryst12010104.

[2] A. Lo Giudice *et al.*, *"Multitechnique characterization of lapis lazuli for provenance study,"* Anal. Bioanal. Chem., vol. 395, no. 7, (2009), 2211–2217, doi: 10.1007/s00216-009-3039-7.

[3] Mingsheng P., Mao H. K., Dien L., Chao E. C. T., *"Raman spectroscopy of garnet-group minerals,"* Chinese J. Geochemistry, vol. 13, no. 2, (1994), 176–183, doi: 10.1007/BF02838517.

[4] Culka A., Jehlička J., *"Identification of gemstones using portable sequentially shifted excitation Raman spectrometer and RRUFF online database: A proof of concept study,"* Eur. Phys. J. Plus, vol. 134, no. 4, (2019), 130, doi: 10.1140/epjp/i2019-12596-y.

[5] Kiefert L., Haenni H. A., Chalain J., *"Identification of gemstone treatments with Raman spectroscopy,"* in Optical Devices and Diagnostics in Materials Science, vol. 4098, (2000), 241, doi: 10.1117/12.401634.

[6] Bersani D., Lottici P. P., *"Applications of Raman spectroscopy to gemology,"* Anal. Bioanal. Chem., vol. 397, no. 7, (2010), 2631–2646, doi: 10.1007/s00216-010-3700-1.

[7] Kiefert L., Haenni H. A., Chalain J.-P., *"Identification of gemstone treatments with Raman spectroscopy,"* in Optical Devices and Diagnostics in Materials Science, vol. 4098, 241, (2000), doi: 10.1117/12.401634.

[8] Lowry S., Wiebolt S., Dalrymple D., Jasinevicius R., Downs R. T., *"The use of a raman spectral database of minerals for the rapid verification of semiprecious gemstones," Spectrosc. (Santa Monica), vol*. 24, no. 5, (2009).

[9] Eaton-Magaña S., Breeding C. M., Palke A. C., Homkrajae A., Sun Z., McElhenny G., *"Raman and Photoluminescence Mapping of Gem Materials,"* Minerals, vol. 11, no. 2, (2021), 177, doi: 10.3390/min11020177.

[10] Filik J., *"Raman spectroscopy: a simple, non-destructive way to characterize diamond and diamond-like materials,"* Spectrosc. Eur., vol. 17, no. 5, (2005), 10-17.

[11] Ali E. M. A., Edwards H. G. M., *"Analytical Raman spectroscopy in a forensic art context: The non-destructive discrimination of genuine and fake lapis lazuli"*, Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc., vol. 121,(2014), 415–419, doi: 10.1016/j.saa.2013.11.005.

[12] Maryam Jahanshahi L. D., *"Investigation of parent magma evolution and origin of chromites in Cheshmeh-Bid, in ophiolite of Neyriz, Fars,"* Iran. J. Crystallogr. Mineral., (2023), 3–16.

[13] Alaminia Z., Razavi S. M. H., Mehrabi B., *"Chemistry and formation conditions of garnet and clinopyroxene of the Seranjic skarn deposit, Ghorveh, Kurdistan province"*, *Iran. J. Crystallogr. Mineral.*, vol. 27, no. 1, (2019), 69–82.

[14] Raman C. V., Krishnan K. S., *"The production of new radiations by light scattering, Part I",* Proc. R. Soc. London. Ser. A, Contain. Pap. a Math. Phys. Character, vol. 122, no. 789, (1929), 23–35, doi: 10.1098/rspa.1929.0002.

[15] Hosterman B. D., *"Raman Spectroscopic Study of Solid Solution Spinel Oxides"*, Doctor of Philosophy in Physics, UNLV Dissertations, (2011).

[16] Bowersox G. W., Foord E. E., Laurs B. M., Shigley J. E., Smith C. P., *"RUBY AND SAPPHIRE FROM JEGDALEK, AFGHANISTAN,"* GEMS Gemol. Summer, vol. 36, no. 2, (2000), 110–126,

[17] Neuville D. R., De Ligny D., Henderson G. S., *"Advances in Raman Spectroscopy Applied to Earth and Material Sciences,"* Rev. Mineral. Geochemistry, vol. 78, (2014), 509–541.

[18] Culka A., Jehli J., *"A database of Raman spectra of precious gemstones and minerals used as cut gems obtained using portable sequentially shifted excitation Raman spectrometer,"* (2018), 1–19, doi: 10.1002/jrs.5504.

[19] Mingsheng P., Mao H. K., Dien L., Chao E. C. T., *"Raman spectroscopy of garnet-group minerals,"* Chinese J. Geochemistry, vol. 13, no. 2, (1994), 176–183, doi: 10.1007/BF02838517.